



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ELEKTRONICKÝ XYLOFON

ELECTRONIC XYLOPHONE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Čížek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Petr Čížek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Marada, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Elektronický Xylofon

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vhodnou úlohou k propagačním účelům může být elektronický xylofon, který lze řídit například programovatelným automatem nebo elektronikou na bázi Arduino. Práce se bude zabývat návrhem a realizací elektronického xylofonu, který bude řízen elektronikou na bázi Arduino nebo zvoleným programovatelným automatem.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte řešerši elektronických xylofonů na internetu.
Proveďte konstrukční návrh elektronického xylofonu.
Zvolte vhodnou elektroniku pro řízení na bázi Arduino nebo PLC.
Navržené řešení realizujte, demonstруйте jeho funkčnost a zhodnoťte výsledky.

Seznam doporučené literatury:

NerdKits, http://www.nerdkits.com/videos/robotic_xylophone, přístup 22. listopadu 2015.

Dallas Personal Robotics Group, Dprg, <http://www.dprg.org/projects/2009-08a>, přístup 22. listopadu 2015.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat funkční podobu elektronického xylofonu, který bude možné ovládat pomocí programovatelného automatu i elektronikou na bázi Arduino. Vytvořený xylofon může být využit k propagačním účelům fakulty.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to design and create a working electronic xylophone which could be controlled by a programmable logic controller or by an Arduino based board. The finished xylophone could be used for promotional purposes of the faculty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Xylofon, elektromagnet, solenoid, Arduino, PLC, tranzistorové pole, multiplexor, plošný spoj, DPS

KEYWORDS

Xylophone, electromagnet, solenoid, Arduino, PLC, transistor array, multiplexer, circuit board, PCB

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČÍŽEK, P. *Elektronický Xylofon*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad při tvorbě práce a mému otci za pomoc při stavbě zařízení.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Marady, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 24. 5. 2019

.....

Petr Čížek

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	ELEKTRONICKÝ XYLOFON	17
2.1	Definice	17
2.2	Princip funkce xylofonu	17
2.3	Realizace elektronických xylofonů	19
3	VÝROBA ELEKTRONICKÉHO XYLOFONU	23
3.1	Xylofon	23
3.2	Elektromagnety	23
3.3	Hlavní řídicí deska	24
3.4	Řízení mikrokontrolerem Arduino	26
3.5	Řízení programovatelným automatem	30
3.6	Konstrukce	33
4	PROGRAM V PROSTŘEDÍ ARDUINO	35
4.1	Standard MIDI	36
4.2	MIDI komunikace	36
4.3	Ukládání dat	37
4.4	Arduino zdrojový kód	38
5	ZHODNOCENÍ.....	41
6	ZÁVĚR	43
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45

1 ÚVOD

Xylofon je jednoduchý hudební nástroj, který využívá fyzikální principy vibrací a zvukových vlnění. Skládá se z několika destiček, které jsou sestaveny do podoby klaviatury s bílými tóny a černými půltóny. Úderem paličky do destičky vzniká typický zvuk xylofonu.

Elektronický xylofon využívá síly elektromagnetů, které jsou schopné udeřit do destiček xylofonu a napodobit jeho přirozený zvuk. K řízení elektromagnetů může být využito rozdílných elektronických zařízení.

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit elektronický xylofon, který bude možné ovládat jak elektronikou na bázi populárního jednodeskového mikrokontroleru Arduino, tak i vybraným programovatelným automatem.

V první kapitole této práce bude popsána teorie funkce samotného xylofonu a také různá řešení elektronických xylofonů. Dále bude proveden návrh jednotlivých řídicích obvodů a zhotovení odpovídajících desek plošných spojů. V rámci práce bude sestaven samotný elektronický xylofon. Na závěr bude zhodnocena jeho funkčnost pomocí ovládání na bázi mikrokontroleru Arduino.

Výsledný elektronický xylofon může být využit v rámci Fakulty strojního inženýrství VUT k propagačním účelům, například při příležitosti Dne otevřených dveří.

2 ELEKTRONICKÝ XYLOFON

2.1 Definice

Název xylofon pochází z řečtiny a v překladu znamená zvučící dřevo. Tento nástroj se začal používat v Evropě již na konci 15. století. Jedná se o tzv. idiofon, což je typ nástroje, který vydává zvuky způsobené vlastním chvěním. Skládá se z většího počtu obdélníkových destiček (kamenů), které se rozezvučí paličkami vyrobenými ze dřeva. Jednotlivé destičky jsou různě dlouhé (podle výšky tónu) a vyráběli jak ze dřeva. Dnes převládá spíše výroba z kovu, například železa nebo hliníku. [1]

Aby mohly destičky znít, musejí být volně položeny na dřevěném pražci, na nichž jsou umístěny gumové nebo molitanové podložky. Tyto podložky jsou připevněny pod okraje kamenů v jejich třetině nebo čtvrtině celkové délky. Kameny jsou také u modernějších xylofonů přidržovány plastovými výstupky, které volně procházejí na každé straně otvorem v okraji kamene a zamezují například uvolnění kamene při manipulaci s nástrojem.

Destičky jsou na xylofonu poskládány v několika řadách. U většiny moderních typů xylofonu jsou rozestavěny tak, aby představovaly rozložení klasické klaviatury. V jedné řadě jsou bíle označeny celé tóny a v druhé řadě jsou černě označeny půltóny. Toto rozestavení využívá i xylofon použitý v této práci.

2.2 Princip funkce xylofonu

Jednotlivé destičky neboli kameny lze při zjednodušení považovat za pruty, které po úderu začnou kmitat. V těchto prutech můžou probíhat tři typy kmitání: podélné, torzní a laterální.

Podélné kmitání v prutu nastává, pokud se osa nepohybuje a příčné části vibrují ve směru, který je kolmý k jejím rovinám. Torzní kmity probíhají v rovině kolmé na osu prutu. V případě funkčnosti xylofonu jsou nejpodstatnější vibrace laterální. [2]

Při laterálních vibracích jsou časové periody kmitání nezávislé na tloušťce prutu ve směru kolmém na rovinu ohybu, jak je tomu u ostatních druhů kmitání. Zvětšení tloušťky prutu má přímý vliv na výšku tónu. [2]

Frekvenci tónu dále ovlivňuje několik faktorů. Největší podíl má samotný materiál. Materiál, který má větší hustotu bude vibrovat s nižší frekvencí, protože za stejný čas musí přesunout větší hmotnost. Pružnější materiál bude vibrovat s nižší frekvencí, protože se musí přemístit do větší vzdálenosti od původní polohy za stejnou jednotku času. Geometrie prutu je také jedním z faktorů. Slabší prut bude vibrovat s nižší frekvencí, protože je více pružný. Posledním faktorem je délka prutu. Delší prut bude vibrovat s nižší frekvencí, protože vlna bude muset urazit delší vzdálenost. Hustota,

pružnost i tloušťka jednotlivých prutů zůstane nezměněna. Různých frekvencí tónů můžeme dosáhnout pouze změnou délky prutů. [3]

Pro daný materiál je frekvence, při které bude vibrovat, nepřímo úměrná druhé mocnině délky prutu. V tomto případě se jedná o délku destičky xylofonu.

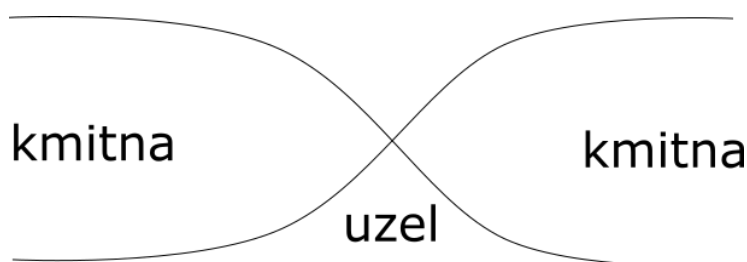
$$f = \frac{kb}{2\pi l^2} m^2 \quad (1)$$

V této rovnici (1) odpovídá b rychlosti, která závisí na použitém materiálu, k reprezentuje poloměr otáčení části, jejíž osa je kolmá k rovině, ve které se prut ohýbá, l je délka prutu a m vyjadřuje abstraktní číslo. [2]

Pro určení délek jednotlivých destiček na xylofonu musíme znát základní frekvenci první destičky, u které upravíme délku, aby frekvence odpovídala prvnímu tónu v řadě. Pokud tedy známe frekvenci první destičky f_1 , délku první destičky L_1 a požadovanou frekvenci vibrací f_2 dalšího kamene, můžeme pomocí vzorce (2) získat délku L_2 následujícího kamene. Tímto způsobem jsme schopni vytvořit celou řadu jednotlivých tónů i půltónů xylofonu. [3]

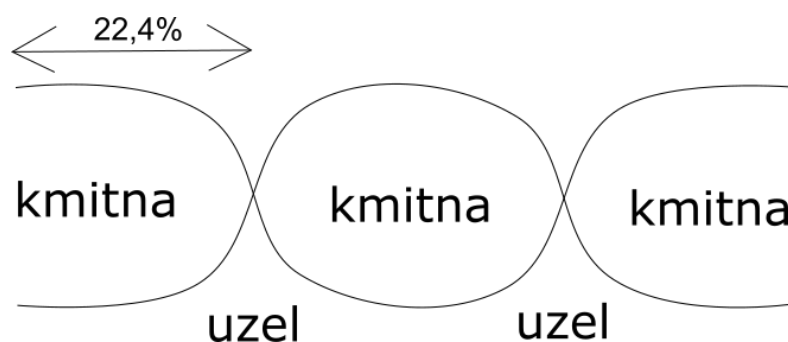
$$L_2 = L_1 \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} \quad (2)$$

Samostatná destička se bude v případě xylofonu chovat jako vibrující prut, který je volný na obou koncích. Vibrace probíhající v tomto prutu tvoří stojaté vlnění a liší se jednotlivými módy. Tyto módy určují, jak se po prutu bude pohybovat vlna, která hýbe s prutem a způsobuje zvukové chvění, které můžeme slyšet. Číslo módu závisí na uchycení a frekvenci vibrací prutu, v tomto případě destičky xylofonu. Pokud by nebyla destička uchycena v žádném bodě, což v praxi není možné, působila by síla na destičku uprostřed a na kraji tělesa by vznikly kmitny (obr. 1). Tento mód se nazývá základní. [4]



Obr. 1: Základní mód

V xylofonu jsou jednotlivé destičky uchyceny na dvou místech a uprostřed každé z nich působí úderná síla. Tímto vzniká druhý mód, kdy jsou uprostřed a na okrajích prutu kmitny a v jedné třetině od kraje jsou uzly. Právě v těchto uzlech jsou destičky uchyceny k prahcům xylofonu a neprobíhá v nich teoreticky žádné kmitání. Kamene tak netlumí svůj zvuk o konstrukci xylofonu. Přibližná poloha těchto uzlů je v 22,4 % délky prutu od každého okraje. [3]



Obr. 2: Druhý mód

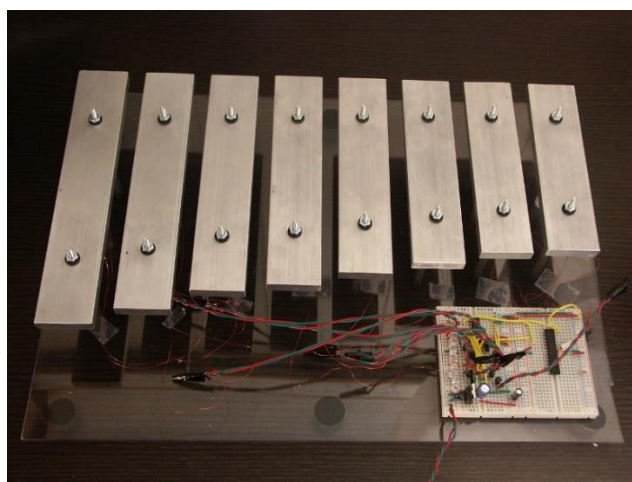
Frekvence, se kterou vibruje druhý mód, je přibližně 2,72násobkem frekvence základního módu. Třetí mód by kmital s 5,40násobnou frekvencí než mód základní. Amplitudy výchylek dalších módů budou vždy menší, než je amplituda v základním módu. [4]

2.3 Realizace elektronických xylofonů

Zejména na internetu, ale i v dalších zdrojích lze nalézt množství různých projektů zaměřených na vytvoření podobného elektronického xylofonu.

Na webových stránkách projektu NerdKits můžeme najít jednu z verzí elektronického xylofonu, která byla vytvořena pro demonstraci funkce solenoidů a řízena pomocí vlastní řídicí desky.

Tvůrci z webu NerdKits začali výrobou vlastního xylofonu z hliníkových destiček stejné tloušťky a šířky. Potřebnou délku jednotlivých destiček vypočítali pomocí vzorce (2) z předchozí kapitoly. U první destičky byla změřena frekvence vibrací, poté upravena na frekvenci požadovaného prvního tónu odstraněním části materiálu z okraje destičky. Výsledná délka byla dosazena spolu se změřenou frekvencí prvního tónu a požadovanou frekvencí dalšího tónu do vzorce. Výsledkem bylo osm délek jednotlivých destiček, které tvoří řadu tónů vyráběného xylofonu.



Obr. 3: Xylofon z webu NerdKits [3]

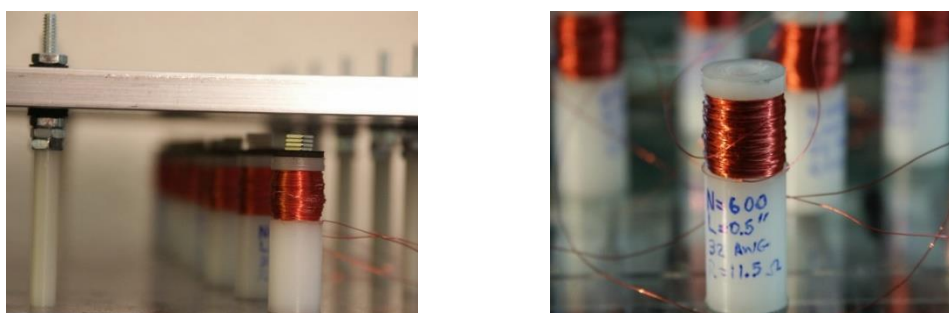
V následující tabulce (tab.1) jsou výsledné délky destiček, které tým NerdKits vytvořil. Pro zjednodušení využili pouze celých tónů v rozsahu od C6 do C7. Požadovanou přesnost docílili uříznutím nejprve větší délky materiálu a poté přesnějším měřením frekvence kmitání destičky a odstraňováním malých částí materiálu z destičky, aby její frekvence co nejpřesněji odpovídala ladění požadovaného tónu. Upevňovací vzdálenost udává vzdálenost od krajů destičky, kde bude později vyvrtán otvor. Pomocí těchto dvou otvorů bude destička připevněna ke konstrukci. Jedná se o přibližně 22,4 % z celkové délky destičky. V tomto místě se nachází uzel vlnění, jak ukazuje obr. 2 z předchozí kapitoly.

Tab. 1: Frekvence a délky vytvořených destiček [3]

Označení tónu	Frekvence [Hz]	Délka destičky [mm]	Upevňovací vzdálenost [mm]
C6	1046,5	216,1	48,4
D6	1174,7	203,1	45,7
E6	1318,5	192,5	43,2
F6	1396,9	187,0	41,9
G6	1568,0	176,5	39,6
A6	1760,0	166,6	37,4
B6	1975,5	157,3	35,3
C7	2093,0	152,8	34,3

Destičky jsou umístěny na plastovém podstavci a upevněny dvěma šrouby s nylonovými distančními sloupky a podložkami. Při kontaktu s destičkami jsou použity gumové podložky, aby nedošlo k rušení vibrací a destičky měly dostatečný prostor k pohybu. Utažením šroubů lze ovlivnit zvuk nástroje. Pokud by došlo k přetažení úchytných šroubů, energie vlnění by se ztratila v konstrukci. Na základě utažení šroubů bude zvuk destiček tlumený nebo zcela zanikne.

Tým z NerdKits postupoval dále výrobou vlastních elektromagnetů. Soustružením části plastové tyče vznikla forma pro cívku elektromagnetu s vyššími okraji, aby vodič cívky lépe držel na těle a byl chráněn proti okolním vlivům. Celkově bylo na každou cívku umístěno přibližně 600 závitů z tenkého izolovaného drátu o celkovém odporu 11,5 Ω . Uvnitř formy byl vyvrtán otvor pro jádro cívky a spodní okraj byl opatřen závitem pro pozdější připevnění cívek ke konstrukci xylofonu.



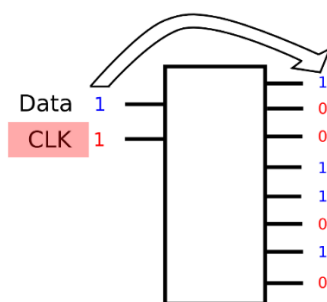
Obr. 4: Detail elektromagnetů NerdKits [3]

Takto vytvořený elektromagnet se po přivedení proudu do cívky chová jako permanentní magnet a přitahuje ocelové jádro do svého středu. Tímto pohybem jádra elektromagnetu není možné udeřit do destičky a vytvořit tak zvukové vibrace, proto bylo v případě projektu NerdKits nutné přidat navíc k jádru cívky i standartní magnet. Tento magnet dodává potřebnou odpuzující sílu, která posouvá magnet spolu s ocelovým jádrem směrem k destičkám. Jádro z oceli také zajišťuje, aby se soustava pohybovala ve vertikální rovině a po stejné ose, jako je osa elektromagnetu. Gravitace zajišťuje návrat jádra s magnetem zpět do středu elektromagnetu po vypnutí přívodu proudu do cívky.

Odlehčením jádra elektromagnetu bylo ušetřeno množství energie, která je nutná k většímu pohybu směrem k destičce xylofonu a vytvoření hlasitějšího tónu. Tuto energii nahrazuje magnetické pole permanentního magnetu, který byl přidán k jádru. Tím dochází i ke snížení potřebného proudu, který prochází cívkou, a k celkovému snížení ceny celého řešení.

K ovládání jednotlivých elektromagnetů bylo využito tranzistorů typu MOSFET. Jedná se o typ tranzistoru, který je ovládán elektrickým polem na vstupu a na svých výstupech dokáže spínat velká napětí i proudy. V tomto použití slouží tranzistory ke spínání indukční zátěže, což jsou cívky elektromagnetů. Na ochranu proti indukovanému napětí v opačném směru je využito LED diod, které poskytují ochranu a zároveň indikují vybíjení zbylé energie z cívky.

Jednotlivé MOSFET tranzistory jsou ovládány pomocí posuvných registrů. Tyto registry umožňují ovládání osmi digitálních výstupů pomocí dvou vstupů z mikrokontroleru. Lze tak vytvořit paralelní výstup z původně sériového výstupu. Jeden ze vstupů slouží pro posouvání dat a druhý pro časování. Data přivádíme v binární formě po jednom bitu a zároveň na časovací vstup přivádíme logickou hodnotu vždy, když chceme posunout další bit. Takto můžeme propojit i více posuvných registrů a ovládat tak teoreticky neomezený počet výstupů s použitím pouze dvou vstupů z mikrokontroleru.



Obr. 5: Princip posuvného registru [3]

Řešení elektronického xylofonu z webu NerdKits je velmi zdařilé a vytvořené kompletně z částí vlastní výroby. Tento způsob umožnil konstruktérům ovlivnit i nejmenší detaily funkčnosti výsledného zařízení. Avšak neobsahuje takový počet znějících destiček, aby bylo možné použít toto zařízení k přehrávání složitějších skladeb, které využívají i půltóny.

3 VÝROBA ELEKTRONICKÉHO XYLOFONU

Realizace elektronického xylofonu probíhala v několika fázích. Nejdříve byla navrhována hlavní řídicí deska xylofonu a poté další dva obvody, které umožňují ovládání xylofonu pomocí mikrokontroleru Arduino nebo pomocí libovolného programovatelného automatu. Na závěr byla vytvořena samotná konstrukce xylofonu.

3.1 Xylofon

Nejprve bylo nutné rozhodnout, jestli je vhodné vyrábět vlastní xylofon nebo zakoupit již hotový. Vzhledem k časovému rámci této práce a k ceně, která by byla v případě výroby větší než při zakoupení, bylo rozhodnuto xylofon zakoupit.

Použitý xylofon je typu ZA 20+14 od firmy G&W s. r. o. z Chebu. Skládá se z 20 bílých a 14 černých kamenů šířky 25 mm, které svým rozložením odpovídají klaviatuře. Rozsah ladění je od tónu C1 do A3.

3.2 Elektromagnety

K použití v této práci byly zvoleny elektromagnety typu solenoid. Solenoid je typ cívky s dlouhým vodičem navinutým ve stejných závitech umístěných v co nejmenším prostoru vedle sebe kolem kruhového průřezu, který má po celé délce stejný průměr. Délka takového solenoidu je větší než jeho průměr. Magnetické pole vytvořené uvnitř cívky je tak téměř homogenní.

Typický solenoid se skládá z ocelového jádra a z cívky, která je přímo připojena na přírodní vodiče. Toto jádro je tvarováno tak, aby se při působení magnetického pole cívky přitahovalo do středu solenoidu. Změnou polohy jádra se také mění indukčnost cívky a z celého solenoidu se stává elektromagnet. Výsledná síla poté drží jádro ve středu, dokud není napětí odpojeno. Dodatečně umístěná pružina vrátí jádro zpět do počáteční polohy.

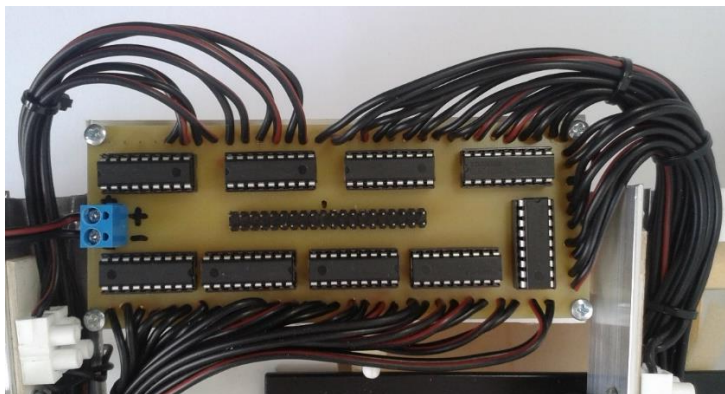
Použité solenoidy na obr. 6 od čínského výrobce byly vybrány kvůli svým malým rozměrům, dostatečné síle v tahu a v neposlední řadě i nízké pořizovací ceně. Informační štítek na každém z nich udává maximální stejnosměrné napájecí napětí 12 V, zdvih jádra cívky 10 mm, typický odběr proudu 300 mA a sílu 5 N, kterou je schopen solenoid přitáhnout.



Obr. 6: Použitý solenoid JF-0530B [5]

3.3 Hlavní řídící deska

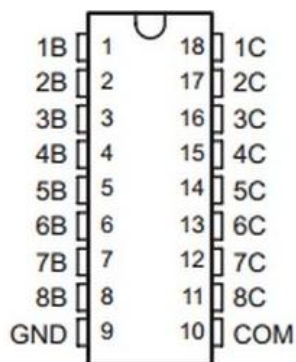
Hlavní řídící deska je umístěna v bezprostřední blízkosti samotného xylofonu. Po obvodu jsou z ní vyvedeny vodiče směřující k elektromagnetům. Uprostřed desky se nachází konektor, který slouží k připojení k některé z dalších desek. Na levém okraji desky je umístěna svorkovnice pro připojení napájecího napětí.



Obr. 7: Hlavní řídící deska

Hlavními prvky desky jsou tranzistorová pole ULN2803A. Tato pole obsahují osm Darlington tranzistorových párů, každý z nich se skládá ze dvou NPN tranzistorů. Tato konfigurace umožňuje větší zesílení ovládacího signálu. V tomto případě je ovládací signál v logické hladině 5 V TTL a maximální spínané napětí je stanoveno konstrukcí elektromagnetů na 12 V. Maximální spínané napětí pomocí těchto tranzistorových polí je 50 V. [6]

Tranzistorová pole jsou připojena pomocí několika vodičů. Vodiče 1B-8B jsou jednotlivé vstupní báze Darlington tranzistorů připojené přímo ke konektoru na desce. Vodiče 1C-8C jsou výstupní konektory tranzistorů připojené k jednomu z vývodů elektromagnetu. Druhý vývod elektromagnetu je připojen ke kladnému napájecímu napětí. Vodič COM je společná katoda pro ochranné diody, které jsou zapojené uvnitř tranzistorového pole. Vodič je připojen ke kladnému pólu napájecího napětí elektromagnetů. Zbývající vodič GND je společný emitor všech tranzistorů a je připojen k zápornému pólu napájecího napětí.

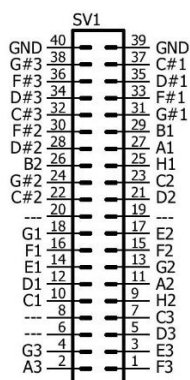


Obr. 8: Vývody tranzistorového pole ULN2803 [6]

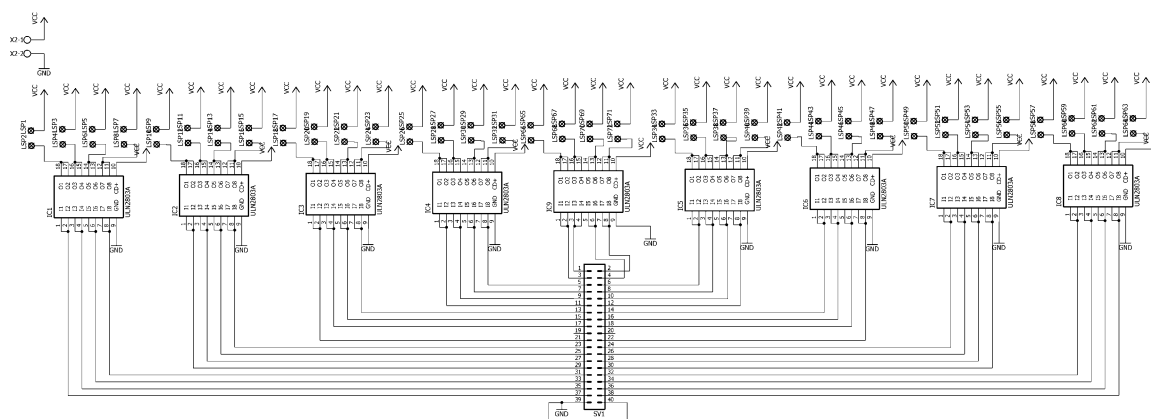
Použité elektromagnety mají výrobcem uvedený proudový odběr 300 mA. Experimentálním měřením byl naměřen větší proud, až 800 mA. Maximální proud na jednom výstupu tranzistorového pole je 500 mA. Bylo tedy nutné vytvořit paralelní konfiguraci těchto polí tak, aby se vstupní i výstupní signál rozdělil na dva. Tím se proudové zatížení rozdělilo na polovinu a jedním výstupem tedy protéká maximální proud 400 mA.

Při spínání indukčních zatížení (jako je například cívka elektromagnetu) dochází při skokové změně proudu k indukování napětí v cívkce, které působí proti procházejícímu proudu. Toto napětí může dosáhnout několikanásobku napájecího napětí a poškodit tak ovládací elektroniku. Z tohoto důvodu je nutné do obvodu umístit i ochranné diody, které jsou zapojeny paralelně k elektromagnetům a směřují opačným směrem, než je směr procházejícího napětí. V použitých tranzistorových polích jsou již tyto ochranné diody obsaženy.

Během návrhu desky plošných spojů bylo zvoleno jednoduché rozestavení komponentů na desce. Uprostřed byl umístěn standardní 40pinový konektor a kolem něj rozestavěna jednotlivá tranzistorová pole tak, aby nebylo nutné křížit jakýkoliv signál. Na okraji desky bylo navrženo připojení jednotlivých elektromagnetů bez použití dalšího konektoru přímo připevněním kabelů do desky plošných spojů. Na levé straně byla umístěna standardní svorkovnice k připojení napájecího napětí.

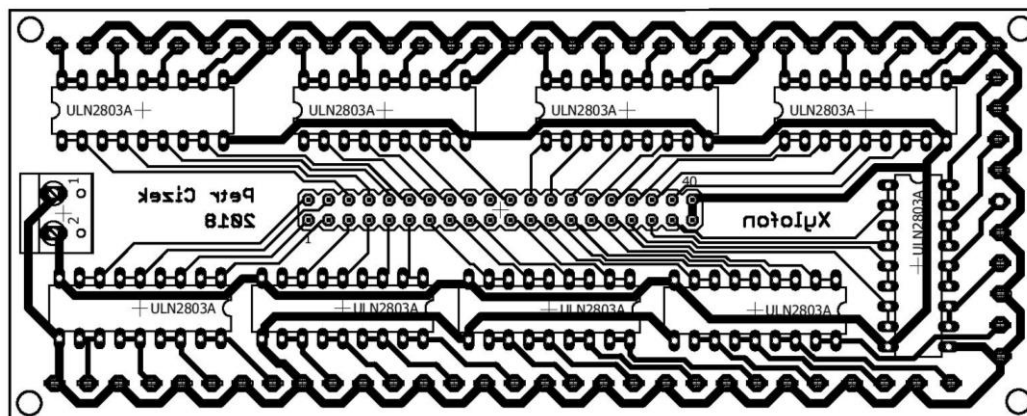


Obr. 9: Zapojení 40pinového konektoru na hlavní desce



Obr. 10: Schéma zapojení hlavní ovládací desky xylofonu

V návrhu byly použity celkově tři šířky tras mědi. Šířka 0,254 mm pro 5 V signál, šířka 0,6096 mm pro jednotlivé trasy k elektromagnetům a šířka 1,016 mm pro vedení napájecího napětí. Jednotlivé šířky byly zvoleny vzhledem k předpokládanému proudovému zatížení různých tras.



Obr. 11: Deska plošných spojů pro hlavní ovládací desku

3.4 Řízení mikrokontrolerem Arduino

Arduino je populární jednodeskový mikrokontroler. S jeho vývojem začala v roce 2005 italská firma Interaction Design Institute. Již od počátku se vývojový kit uchytil zejména mezi studenty, pro které bylo Arduino mnohem levnější než jiné vývojové desky prodávané v té době. Dalším důvodem k velké popularitě Arduina je jeho Open source provedení, což znamená zveřejnění všech návodů i schémat a možnost jejich veřejného šíření. Za 13 let existence se prodalo několik stovek tisíců kusů desek i neoficiálních kopií. Oficiální desky se nadále vyrábějí v Itálii. [7]

Vývojový kit Arduino je založen na procesoru ATmega od firmy Atmel, který je na desce obklopen dalšími komponenty. V prodeji je několik verzí, které si liší typem procesoru, velikostí desky, způsobem komunikace s počítačem i frekvencí procesoru.

Nejmenší deskou je Arduino Mini. Z důvodu úspory místa neobsahuje USB port a ke komunikaci je nutné využít externí převodník. Uprostřed desky je umístěn procesor ATmega328 s frekvencí 16 MHz. Dalším typem kitu je například Arduino Micro, který kromě větších rozměrů obsahuje i USB port a procesor ATmega32u4. Mezi jeho výhody patří například schopnost odesílání příkazů o stisknutí kláves nebo posunutí myši. Největší dostupnou verzí, co se týče počtu vstupů a výstupů je Arduino Mega. Jeho základem je procesor ATmega2560 běžící na frekvenci 16 MHz a samozřejmě má i na desce vestavěný USB port. Nabízí 54 digitálních vstupů nebo výstupů a 16 analogových vstupů. Vzhledem k jeho velikosti a výkonu je možné ho využít například k řízení 3D tiskáren nebo k rozsáhlejší robotických projektům. [7]

V současné době je nejpoužívanějším typem tohoto vývojového kitu Arduino UNO. Na desce se nachází USB port a procesor ATmega328P s frekvencí nastavenou krystalovým oscilátorem na standardních 16 MHz. Kapacita procesoru pro uživatelem

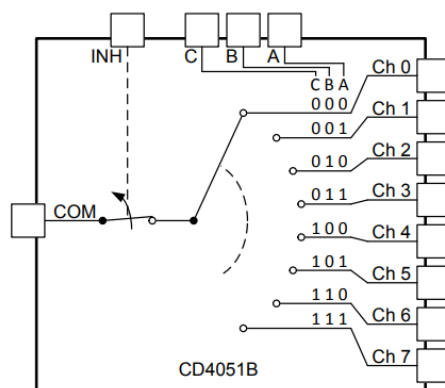
nahraný program je 32 KB. Dále obsahuje 2 KB paměti SRAM, kde probíhá přesun a ukládání proměnných při chodu programu. Je možné využít také 1KB externí paměti EEPROM, kde uložené proměnné zůstanou zachované i při vypnutí napájení. Napájení této desky je zajištěno přes USB port nebo po připojení externího napájení v rozsahu 7–12 V. Napěťový regulátor na desce poté zajistí, aby bylo napětí stabilizováno na používaných 5 V. Obsahuje i pohodlně vyvedené jednotlivé analogové a digitální vstupy a výstupy, kterých nabízí 14. Šest z nich může být využito jako výstupy pulzní šířkové modulace (PWM). Maximální proud pro tyto výstupy může být až 20 mA pro každý z nich. [8]



Obr. 12: Arduino UNO [8]

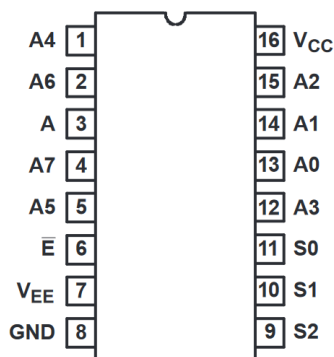
Elektronický xylofon vytvořený v této práci obsahuje 34 jednotlivých elektromagnetů, které je možné samostatně ovládat. Vývojová deska Arduino Mega, která disponuje 54 výstupy by byla dostačující, ačkoliv její použití by znamenalo nevyužití jejího plného potenciálu. Z tohoto důvodu byla zvolena verze UNO, která je cenově příznivější této aplikaci.

K jednotlivému řízení všech elektromagnetů mikrokontrolerem je využito pěti analogových multiplexorů CD4051. Tyto multiplexory fungují na principu přepínače. Podle stavu řídicího signálu přivádí multiplexor vstupní signál na různé výstupy. Na obr. 13 je znázorněn princip funkce multiplexoru. Umožňuje tak snížit počet digitálních výstupů z mikrokontroleru nutných k řízení většího počtu kanálů. Nevýhodou může být omezení použití všech kanálů v jeden časový okamžik. Multiplexor dokáže připojit vždy jen jeden vstup k výstupu. V praxi je tento problém řešen zvýšením rychlosti přepínání, kdy již není možné rozeznat prodlevu mezi jednotlivými přepínáními. Toho se využívá například u LED zobrazovačů, ale při použití multiplexorů v této práci nebude zmíněný problém znatelný.

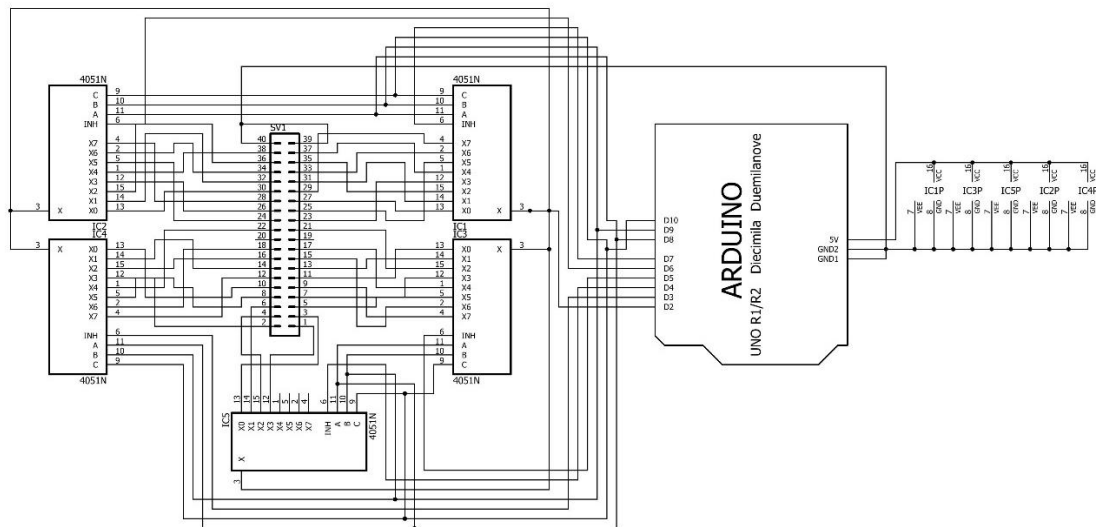


Obr. 13: Princip multiplexoru [9]

Multiplexory CD4051 jsou připojeny k mikrokontroleru pomocí několika vodičů (obr. 14). Vodiče A0-A7 jsou jednotlivé výstupy, které se připojují přímo k výstupnímu konektoru a přes něj směřují do hlavní řídicí desky xylofonu. Vodiče S0-S2 slouží k výběru adresy výstupu, na který se v danou chvíli připojí vstup. Vodič A je vstup do multiplexoru z mikrokontroleru. Vodič E slouží k aktivaci multiplexoru. Pokud je vodič E připojen na úroveň logické jedničky, daný multiplexor nebude reagovat na žádná vstupní data. Připojením vodiče E na úroveň logické nuly se daný multiplexor aktivuje. Zbývající vodiče V_{ee} a V_{ss} se připojí k zápornému pólu napájecího napětí a vodič V_{cc} ke kladnému pólu.

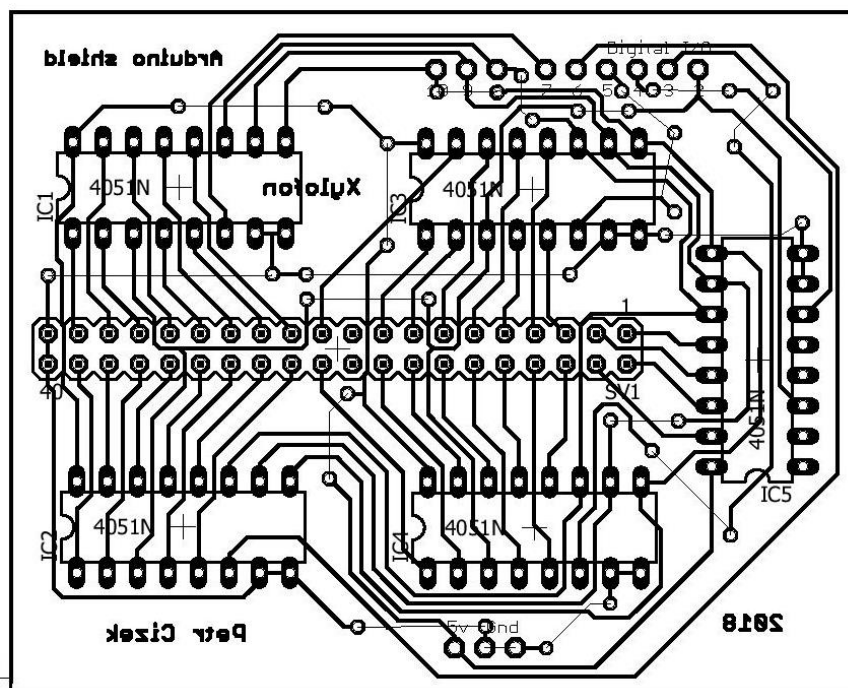


Obr. 14: Vývody multiplexoru CD4051 [10]

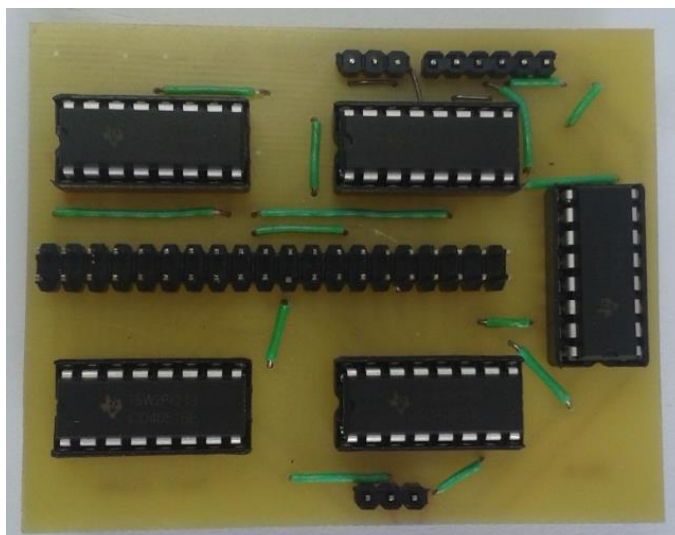


Obr. 15: Schéma zapojení obvodu

Pro řízení xylofonu tímto mikrokontrolerem byla navržena deska plošných spojů (obr. 16), kterou lze rozšířit tento mikrokontroler. Uprostřed desky je umístěn 40pinový konektor, aby bylo možné propojit tuto desku s hlavní ovládací deskou xylofonu. Multiplexory jsou rozestavěny kolem tohoto konektoru tak, aby se minimalizovalo použití kabelových propojek na výsledné desce. Všechny měděné cesty jsou zde provedeny šířkou 0,254 mm. Očekávaný proud procházející těmito cestami je minimální. Bude se jednat pouze o logické signály úrovně 5 V.



Obr. 16: Deska plošných spojů



Obr. 17: Výsledná deska pro ovládání xylofonu pomocí mikrokontroleru Arduino

3.5 Řízení programovatelným automatem

Programovatelný logický automat neboli PLC je mikropočítač orientovaný na řízení automatizačních procesů v průmyslovém prostředí. Procesy řeší v reálném čase s důrazem na bezpečnost a nejkratší dobu odezvy. Obsahuje vlastní operační systém umístěný v řídicí jednotce CPU, na kterou jsou napojeny různé vstupní a výstupní periferie. PLC řídí programový algoritmus, který je uložen v paměti a vykonává se opakovaně tak, aby obsloužil všechny procesy za jeden programový cyklus.

Většina typů programovatelných automatů pracuje na výstupech s logickou úrovní 24 V, ovšem existují i typy s relé výstupem umožňujícím spínat síťová napětí 230 V. S použitím logiky 24 V bylo nutné upravit výstupní napětí na nižší hodnotu, jelikož hlavní řídicí deska xylofonu operuje s TTL logikou 5 V. K tomuto snížení napětí lze dojít několika způsoby. Napojení každého výstupu z PLC na regulátor napětí je možné, avšak tento způsob je ze všech zmíněných zřejmě nejnákladnější. Dále je možné ovládat programovatelným automatem relé nebo optický izolátor. Tyto způsoby se využívají spíše na vstupech logických kontrolérů ke galvanickému oddělení od sítě a v porovnání se zvoleným způsobem jsou také velice nákladné.

Ke snížení napětí z PLC byl vytvořen odporový dělič. Jedná se o dva odpory zapojené za sebou tak, že v bodě mezi nimi můžeme naměřit výstupní napětí, v tomto případě 5 V. První odpor v sérii je připojen na vstupní napětí, v tomto případě 24 V, a druhý odpor je připojen k zemi. Této konfigurace je možné využít pouze pokud je proud protékající odpory zanedbatelný, jinak by docházelo k neúměrným ztrátám ve výkonu. V této aplikaci tomu tak je, neboť odporovým děličem prochází pouze logické signály, které slouží k ovládání dalších tranzistorů umístěných na hlavní ovládací desce xylofonu.

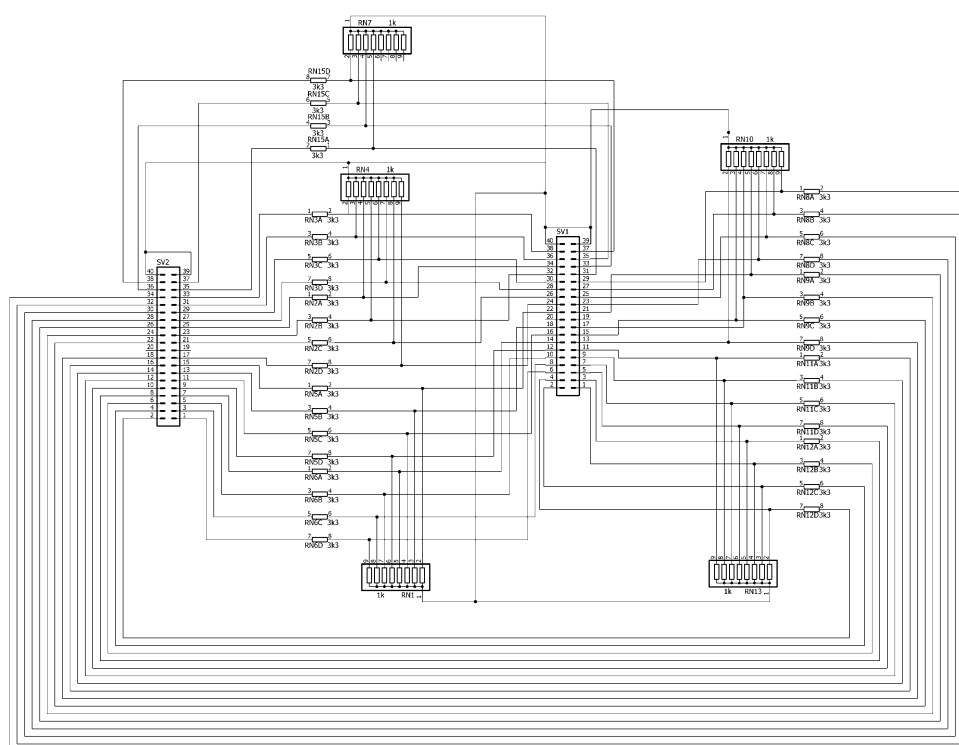
Hodnotu odporů použitých v napěťovém děliči lze získat z následujícího vztahu (3) úpravou základní rovnice Ohmova zákona.

$$V_{výst} = \frac{V_{vst} \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$V_{výst}$ je výstupní napětí ve Voltech, V_{vst} je vstupní napětí ve Voltech, R_1 je odpor prvního rezistoru v Ohmech a R_2 je odpor druhého rezistoru v Ohmech.

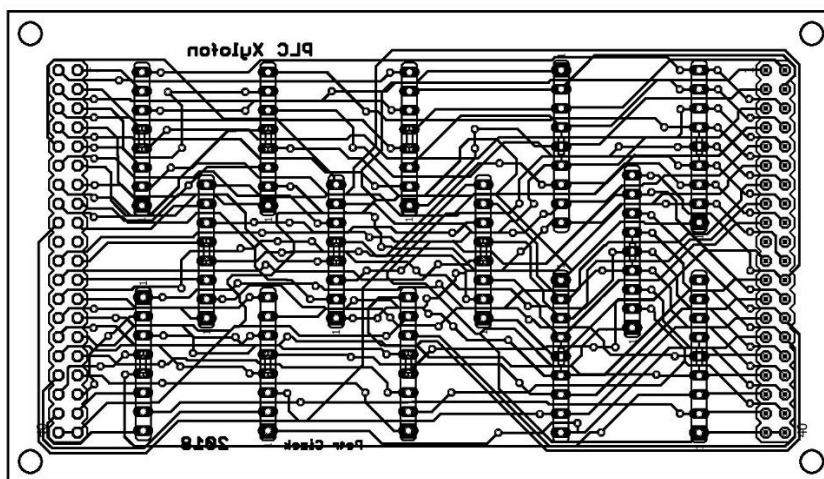
Na základě této rovnice jsme po dosazení hodnot odporů ze základní řady E12 získali velikost výstupního napětí 5,581 V. Tato hodnota je v dostatečné toleranci k napětí 5 V. Výsledná hodnota odporu R_1 je 3300 Ω a odporu R_2 1000 Ω .

Schéma zapojení této desky je na obr. 18. Jednotlivé odpory jsou uloženy v odporových sítích dvou typů. Odporová síť typu A obsahuje v tomto případě osm rezistorů hodnoty 1000 Ω , které jsou zapojeny s jedním vývodem vyvedeným a druhým spojeny v jeden. Tento společný vývod je připojen k zemi. Jednotlivé vývody odporů jsou připojeny přímo k výstupnímu konektoru. Druhá použitá odporová síť typu B obsahuje v tomto případě čtyři rezistory hodnoty 3300 Ω zapojených vedle sebe s oběma vývody vyvedenými samostatně. Jeden z vývodů každého odporu je připojen ke vstupnímu konektoru a druhý je připojen zároveň k výstupnímu konektoru i druhé odporové sítě.



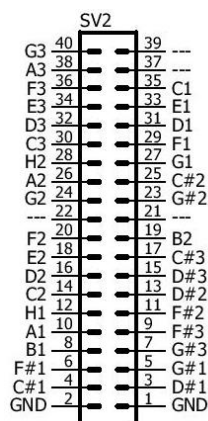
Obr. 18: Schéma zapojení desky

Pro toto schéma byla navrhnutá deska plošných spojů (na obr. 19). Nachází se na ní dva stejné 40pinové standardní konektory. První konektor je vstupní pro připojení k programovatelnému automatu, který pracuje na výstupu s logickou hodnotou 24 V. Druhý konektor na desce je výstupní pro připojení k hlavní ovládací desce xylofonu pracující na logické úrovni 5 V. Z důvodu komplikovaného zapojení jednotlivých odporových sítí byla zvolena oboustranná deska. Na horní straně se nacházejí veškeré komponenty i měděné trasy a na straně spodní jsou pouze měděné trasy. Propojení obou stran je na několika místech zajištěno provrtáním a prokovením vzniklého otvoru. Tím je zajištěn průchod signálu z jedné strany na druhou.

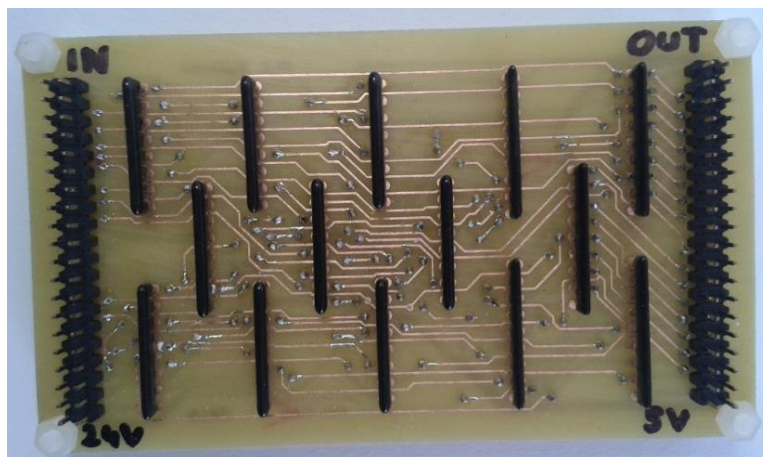


Obr. 19: Návrh desky plošných spojů pro řízení xylofonu programovatelným automatem

Na obr. 20 je zapojení konektoru na desce pro ovládání xylofonu pomocí programovatelného automatu. Svými vývody není totožný jako konektor na hlavní desce. Signály procházejí přes odporové děliče, které jsou umístěny z důvodu úspory místa tak, že nekorespondují se vstupním konektorem.



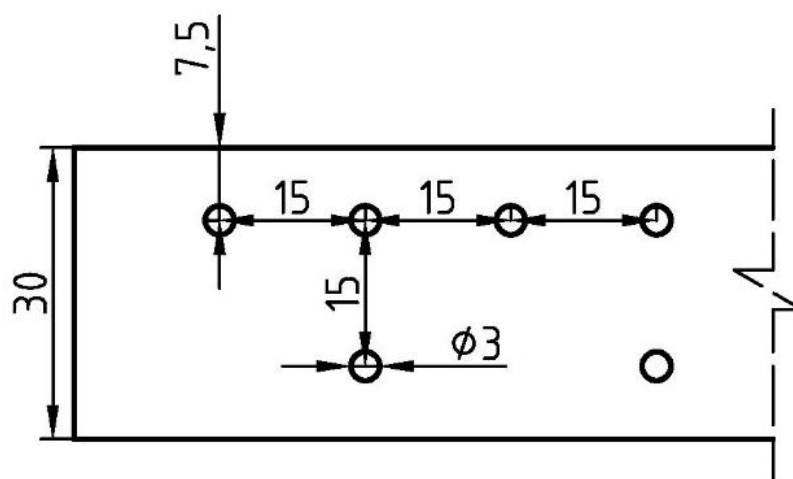
Obr. 20: Zapojení konektoru pro ovládání xylofonu programovatelným automatem



Obr. 21: Výsledná deska pro řízení xylofonu programovatelným automatem

3.6 Konstrukce

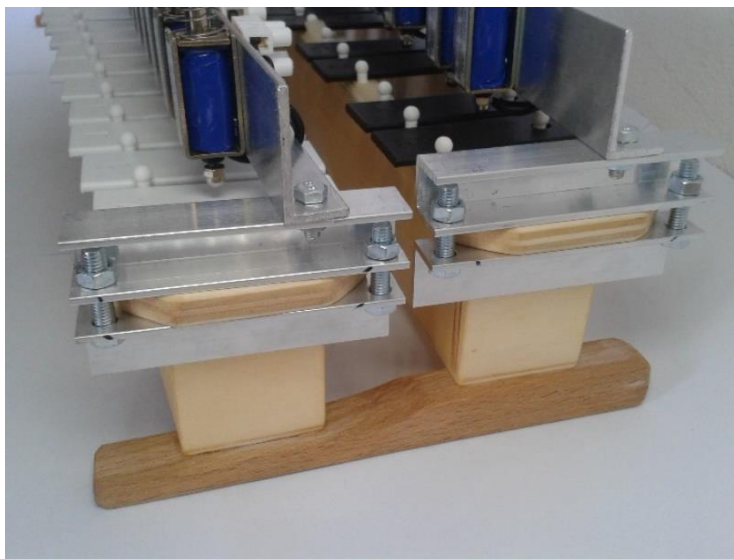
K připevnění elektromagnetů nad znějící plochu xylofonu bylo využito několika hliníkových profilů. Profil ve tvaru L o délce 660 mm, rozměrech 30x15 a šířce 2 mm byl umístěn nad každou řadu kláves. K němu byly připevněny jednotlivé elektromagnety. Do tohoto profilu byly vyvrtány dva otvory pro každý elektromagnet ve vzdálenosti 15 mm od sebe. Lze vidět na obr. 22. Dále byl vyvrtán další otvor vedle každého elektromagnetu k pozdějšímu přichycení svorkovnice. Každý solenoid byl připevněn k profilu šrouby velikosti M3 a délce 5 mm do závitu, který již solenoid obsahuje na jedné z jeho stran.



Obr. 22: Umístění vrtaných otvorů v konstrukci xylofonu

Nejkratší dostupný šroub délky 5 mm zasahoval svým závitem do vinutí cívky elektromagnetu, což by mohlo ovlivnit její funkčnost nebo zapříčinit její protrhnutí, byla mezi elektromagnety a hliníkový profil vložena tenká plastová destička, která navyšuje vzdálenost mezi nimi.

Celá konzole s elektromagnety byla upevněna na stranách xylofonu k soustavě svěráků, které propojují konstrukci se samotným nástrojem (obr. 23). Na delší straně xylofonu byly použity L profily o délce 145 mm, rozměrech 20x15 a šířce 2 mm. Ty byly umístěny naspod boční konstrukce. Nad nimi byly umístěny profily ve tvaru U o stejné délce a rozměrech 15x15, šířky 2 mm. Na kratší straně xylofonu byly profily zkráceny na délku 75 mm. Horní i dolní profily byly na každé straně přitaženy šrouby M5 k sobě a tím byla celá konstrukce s elektromagnety připevněna k nástroji bez nutnosti vrtání do xylofonu.



Obr. 23: Připevnění konstrukce ke xylofonu

Hlavní ovládací deska byla umístěna na jedné z delších stran xylofonu a připevněna M3 šrouby v rozích ke konstrukci. Z této desky byly nataženy prodloužené kabely ke každému elektromagnetu. Kabely byly na konci zakončeny svorkovnicemi, aby bylo možné lehce vyměnit případně vadný elektromagnet.

4 PROGRAM V PROSTŘEDÍ ARDUINO

K testování funkčnosti xylofonu byl zvolen mikrokontroler Arduino. Na jeho bázi byl napsán program, který demonstruje funkčnost elektronického xylofonu.

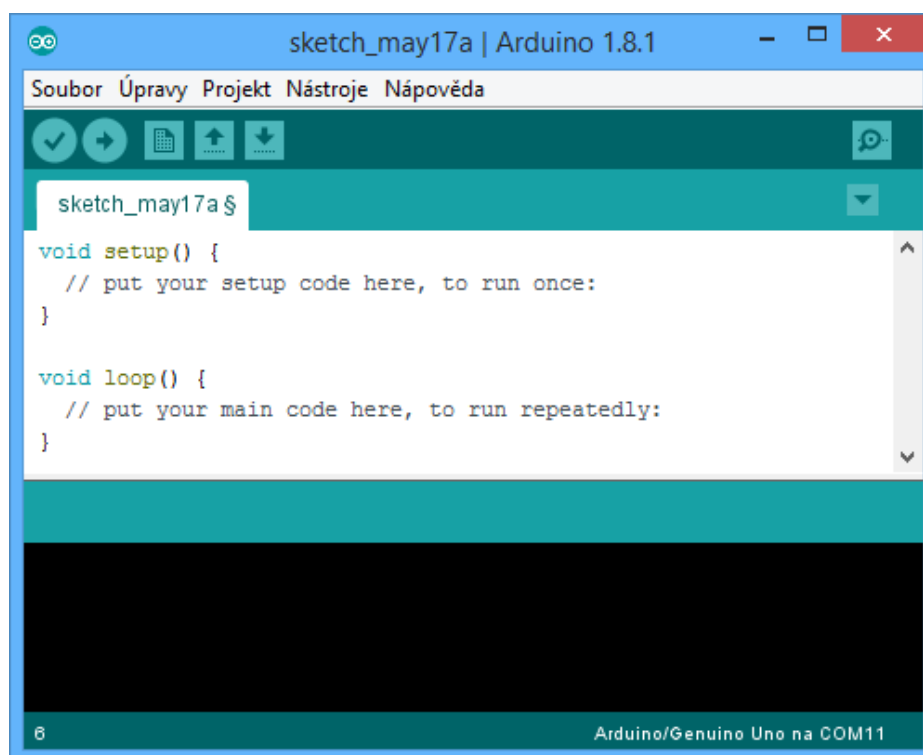
V prostředí Arduino IDE (obr. 24) lze pohodlně vytvářet potřebný kód k uzpůsobení funkčnosti vývojové desky. Jazyk kódu vychází ze základního jazyka C a je výrazně zjednodušen předem vytvořenými knihovnami. Jednotlivé knihovny slouží například k práci se vstupy a výstupy nebo k inicializování dalších uživatelských funkcí.

Program, který byl napsán v tomto prostředí lze lehce nahrát na vývojovou desku pomocí USB připojení. Umožňuje i sledovat sériovou linku pro případ zasílání nebo přijímání dat. Lze pomocí něj i nahrávat nový firmware na vývojové desky.

Struktura programu je rozdělena na dvě základní funkce. Funkce pojmenovaná *setup* se provádí pouze při zapnutí mikrokontroleru. Slouží k nastavení portů vstupů a výstupů nebo k provedení počátečních funkcí, které se vykonají pouze při startu programu.

Funkce *loop* se provádí neustále ve smyčce, dokud je mikrokontroler připojen k napájení. Nachází se v ní všechna potřebná volání funkcí nebo zjišťování stavu vstupů.

Začátek programu před funkcí *setup* slouží k inicializování všech proměnných, které budou používány v dalším průběhu programu.



Obr. 24: Prostředí Arduino IDE

4.1 Standard MIDI

Zkratka MIDI neboli Musical Instrument Digital Interface označuje sériový komunikační protokol určený pro hudební nástroje. Byl vytvořen v 80. letech 20. století zejména k propojení digitálních samplerů mezi sebou a k přenosu hudebních dat do počítače. [11]

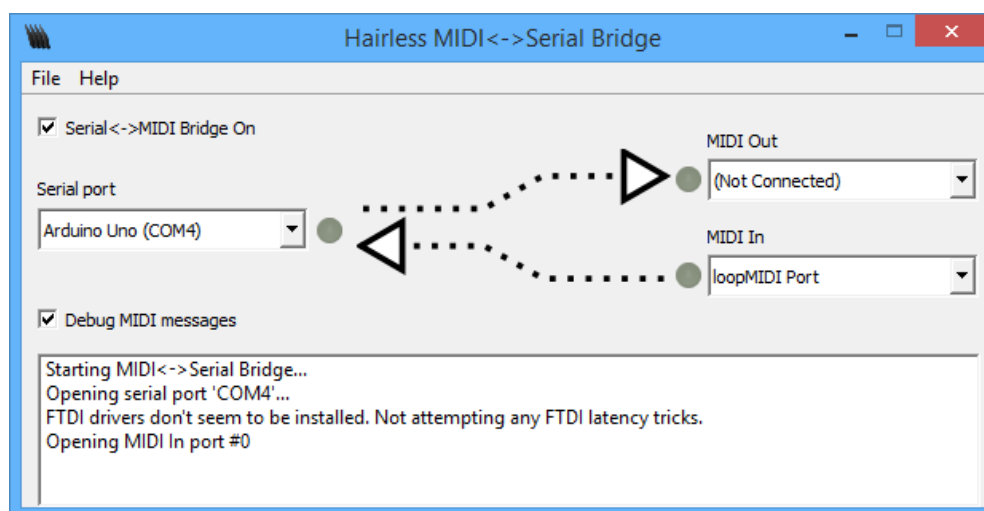
Komunikace je založena na posílání zpráv mezi zařízeními, které se skládají z několika bytů. Nejpodstatnější jsou datové byty, ve kterých jsou uloženy informace o přehrávaných tónech. Tyto informace můžeme využít pro přenos a přehrávání skladeb v elektronickém xylofonu.

Při stisku klávesy jsou odeslány do zařízení tři byty. První udává, zda byla klávesa stisknuta nebo puštěna. Druhý byt obsahuje číslo klávesy (tónu) který reprezentuje a poslední byt vyjadřuje jakou silou byla klávesa stisknuta. Z těchto informací využijeme pouze údaj o velikosti tónu, který v programu předáme příslušné funkci.

4.2 MIDI komunikace

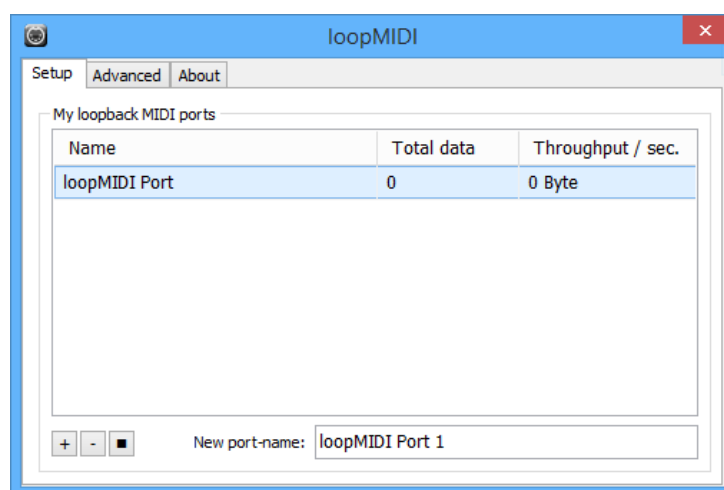
Aby bylo možné přenášet MIDI data z počítače a přehrávat je v elektronickém xylofonu, je nutné propojit obě zařízení. Standardně jsou MIDI zařízení vybavena specifickými konektory, ale data lze přenášet i přes USB rozhraní.

K převodu z MIDI na USB lze využít například program Hairless MIDI (obr. 25), který je volně dostupný. Umožňuje přenos z komunikačního protokolu MIDI na sériové rozhraní vhodné pro Arduino. Po instalaci programu a jeho spuštění je třeba nastavit přenosovou rychlost. MIDI komunikace pracuje při rychlosti 31250 Baudů. Tato rychlost není vhodná pro sériovou linku mikrokontroleru, která využívá násobky rychlosti 300 Baudů. Nastavením v záložce *File-Preferences* vybereme rychlost 57600 Baudů. Stejná rychlost je poté zvolena v nastavení sériové linky mikrokontroleru v programu Arduino IDE.



Obr. 25: Prostředí programu Hairless MIDI

Dále je ke správné funkci přenosu MIDI signálů nutné zvolit software, který vytvoří v počítači virtuální MIDI port. Tento port bude zprostředkovávat komunikaci mezi programem Hairless MIDI a libovolným softwarem určeným k přehrávání skladeb. Jako příklad byl vybrán software loopMIDI (obr. 26), který je volně dostupný. Po spuštění programu je kliknutím na tlačítko *Add Port* v levé dolní části okna vytvořen virtuální port MIDI s unikátním názvem. Tento port je poté nutné vybrat v nabídce portů *Midi In* v programu Hairless MIDI.



Obr. 26: Prostředí programu loopMIDI

Po spuštění a nastavení obou komunikačních programů můžeme zvolit software, který využijeme na přehrání skladby. Může se jednat o jakýkoliv volně dostupný software, který umožní přehrání skladby ve formátu MIDI, případnou editaci a výstup dat na virtuální MIDI port zařízení.

4.3 Ukládání dat

Při výrobě elektronického xylofonu bylo nutné zajistit přehrávání skladby uložené v paměti mikrokontroleru. K tomuto účelu bylo využito paměti EEPROM, umístěné uvnitř mikrokontroleru Arduino.

Ve verzi Arduino UNO, která byla zvolena k účelům této práce, je k dispozici celkem 1KB paměti EEPROM. Jednotlivé sekce paměti jsou opatřeny adresami. Na každé z adres je možné uložit proměnnou ve formátu *byte* o délce 0-255. Paměť EEPROM má omezenou životnost, standardně se uvádí až 100 000 zápisů, je tedy nutné zapisovat data s rozvahou.

Pro uložení celé skladby musíme znát velikosti jednotlivých tónů a prodlevu mezi nimi. V této aplikaci neuvažujeme vlastní délku tónu, protože při použití elektromagnetů, které udeří do kamenů xylofonu nelze délku znění regulovat. Ze stejného důvodu nevyužíváme sílu stisku, protože jí nemáme možnost ovládním xylofonu měnit.

Velikost tónů získáváme z funkce pro zpracování MIDI dat. Jsou v rozsahu hodnot 24 až 57. Tyto hodnoty reprezentují nejnižší a nejvyšší tóny, které se na xylofonu nacházejí. Pokud se v datech vyskytne jiná velikost tónu, do paměti se neuloží.

Měřením doby od spuštění posledního tónu a rozeznáním dalšího získáme prodlevu mezi nimi. Tento údaj v milisekundách nemůžeme do jedné paměťové buňky uložit celý. Proměnnou rozdělíme pomocí bitového posunu o 8 míst na dvě hodnoty formátu byte, které můžeme uložit samostatně.

V paměti EEPROM je skladba uložena po třibajtových skupinách (obr. 27). První byte skupiny reprezentuje velikost tónu, druhý a třetí prodlevu do dalšího tónu. Při přehrávání z paměti dojde v programu k opětovnému spojení dvou bytů prodlevy pomocí bitového posunu o 8 míst zpět. V paměti o velikosti 1KB se nachází přibližně 1000 adresových pozic. Je do ní tedy možné tímto způsobem uložit skladby o přibližně 330 tónech.

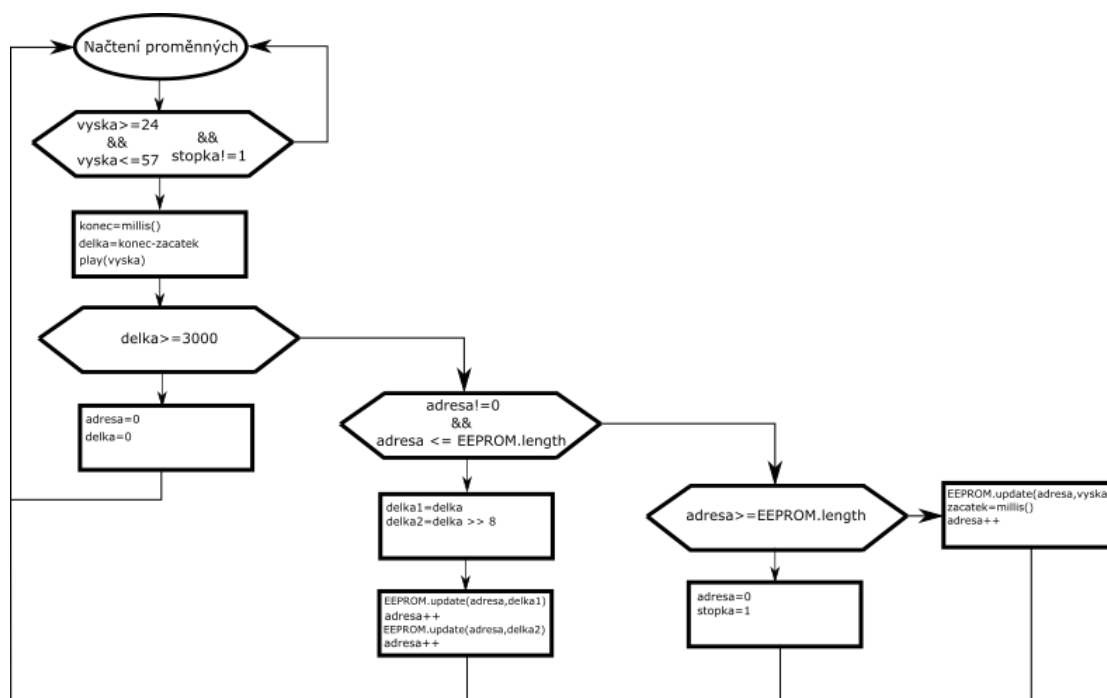
0	1	2	3	--
46	255	120	32	→
tón	pauza1	pauza2	tón	--

Obr. 27: Rozložení paměti EEPROM

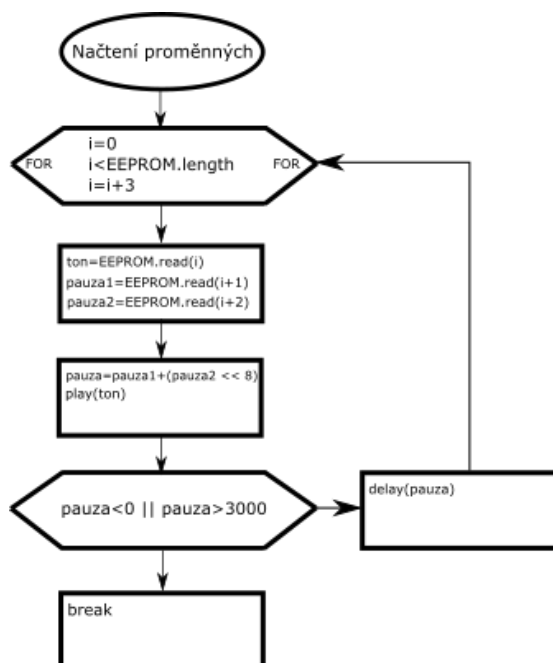
4.4 Arduino zdrojový kód

Program, který slouží k řízení elektronického xylofonu můžeme rozdělit do několika funkčních bloků. První blok zpracovává data z MIDI komunikace a ukládá je do paměti. Druhý blok je zodpovědný za přehrávání skladby z paměti. Třetí blok přímo ovládá příslušné elektromagnety xylofonu.

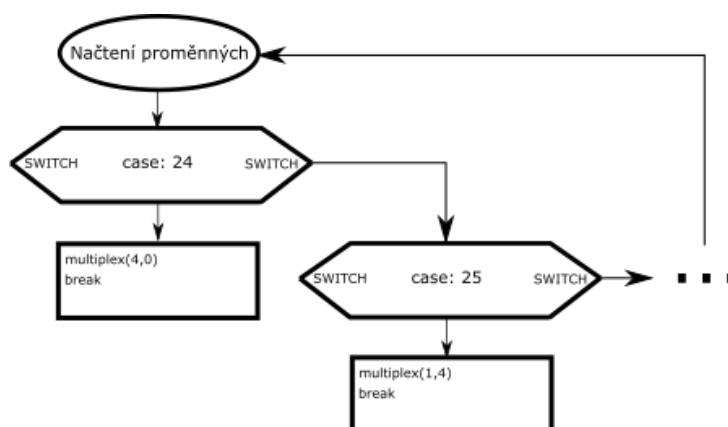
První blok programu obsahuje funkci *NoteON* (obr. 28), která je použita pokaždé, když je přijat příkaz ke spuštění tónu z MIDI rozhraní. Vstupními argumenty funkce jsou proměnné *kanál* – udává číslo komunikačního kanálu, *výška* – číslo přehrávaného tónu a *síla* – síla stisku příslušné klávesy. Funkce nejprve podmínkou ošetří, jestli je číslo tónu v rozmezí rozsahu xylofonu. Pokud je podmínka splněna, předá číslo tónu funkci pro přehrávání. Dále je pomocí několika podmínek zjištěno, zda není zaplněna paměť a také je spočítána prodleva mezi aktuálním tónem a předchozím. Prodleva je rozdělena na dvě proměnné a spolu s číslem tónu uložena do paměti. Zapisování do paměti je signalizováno pravidelným blikáním LED diody připojené k mikrokontroleru. Funkce vyhodnotí konec nahrávání skladby, pokud je prodleva mezi tóny delší než 3 sekundy. Pokud je dosaženo konce paměti je nahrávání skladby ukončeno.

Obr. 28: Diagram funkce *NoteON*

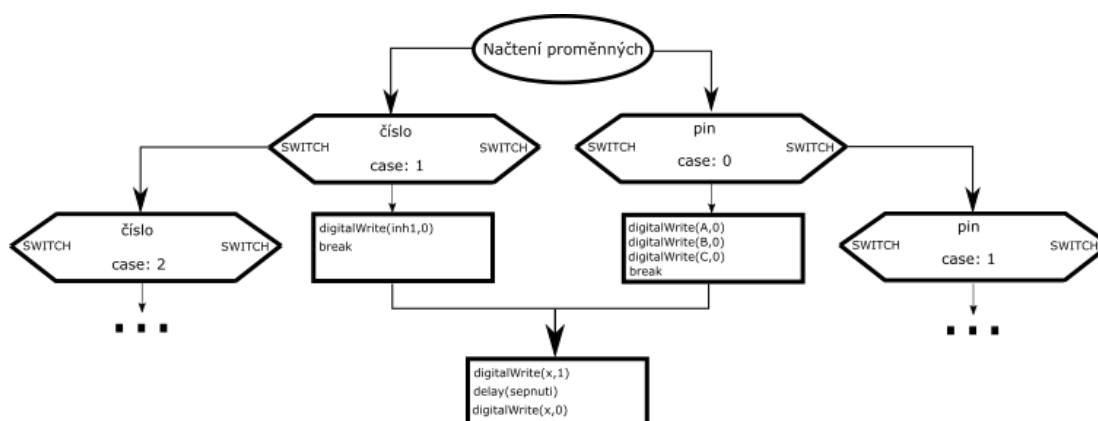
V druhém bloku je umístěna funkce *přehrát* (obr. 29). Je spuštěna pokaždé, kdy je sepnuto tlačítko připojené k mikrokontroleru. Obsahuje cyklus typu *for*, který prochází paměť po jednotlivých adresách a čte trojice bytů. Výsledkem čtení jsou proměnné *tón*, *pauza1* a *pauza2*. Spojením posledních dvou proměnných vznikne prodleva mezi tóny. Funkce předává čísla tónů třetímu bloku programu v časových intervalech určenými prodlevou, dokud nedosáhne konce paměti nebo prodlevy větší než 3 sekundy. Přehrávání skladby je signalizováno rozsvícením LED diody připojené k mikrokontroleru.

Obr. 29: Diagram funkce *přehrát*

Třetí blok programu je složen z funkcí *multiplex* a *play*. Vstupním argumentem funkce *play* (obr. 30) je číslo tónu. Pomocí konstrukce *switch* vyvolává pro každé číslo tónu z rozsahu xylofonu funkci *multiplex* s konkrétními argumenty pro daný tón. Obsahuje tedy celkem 34 možných variant tónů. Funkce *multiplex* (obr. 31) slouží k vybrání a aktivaci zvoleného multiplexorovacího čipu a také ke zvolení vhodného výstupu tohoto čipu. K tomuto účelu jsou využity vstupní proměnné *číslo* a *pin*, které udávají, jaký čip bude vybrán a číslo jeho výstupu.

Obr. 30: Diagram funkce *play*

V prvním kroku proběhne výběr multiplexoru v rozsahu hodnot od 1 do 5 podle vstupní proměnné *číslo*. Pro každé zvolené číslo multiplexoru dojde k aktivace jednoho z pěti příslušných připojení. Dalším krokem této funkce je aktivování odpovídajícího výstupu. Toho je dosaženo nastavením odpovídajících vstupů multiplexorů označených jako A, B a C na logické hodnoty 1 a 0 v binární soustavě tak, aby byly v decimálním rozsahu 0 až 7. Opět je použita konstrukce *switch*, která vybírá v rozsahu 0–7 podle vstupní proměnné *pin*. V závěru této funkce je nastaven datový výstup na logickou hodnotu 1 a po stanoveném času na hodnotu 0. Tím je dosaženo aktivace příslušného elektromagnetu. Poté jsou navraceny použité výstupy zpět na počáteční hodnoty. Délka sepnutí byla stanovena experimentálně na 40 milisekund, aby bylo zajištěno co největší znění kamenů xylofonu.

Obr. 31: Diagram funkce *multiplex*

5 ZHODNOCENÍ

Vytvořený elektronický xylofon (obr. 32) vznikl dle návrhu a jeho funkčnost byla demonstrována programem na bázi mikroprocesoru Arduino, který je schopen přehrávat nahrané skladby.

K finální verzi byl doplněn regulátor napětí, pomocí kterého lze přesně nastavit velikost napětí na cívkách elektromagnetů a tím i ovládat jejich znělost. Při nižším napětí nedochází k aktivaci elektromagnetů a při příliš velkém napětí není destičkám umožněno volně kmitat a zvuk je tak výrazně tlumený. Ideální napětí bylo zjištěno experimentálně a stanoveno na hodnotu 10 V. Vstupní napětí regulátoru je omezeno jeho konstrukcí. Výrobce uvádí maximální vstupní napětí 40 V a nejvyšší výstupní proud 3 A, což je pro aplikaci v tomto xylofonu dostatečné.

Programovatelným automatem je možné ovládat xylofon pomocí vyrobené převodní desky. Lze tak využít například PLC jednotky od firmy Siemens nebo i programovatelná relé typu LOGO!. Teoreticky je možné napojit k řízení xylofonu zároveň mikrokontroler Arduino i programovatelný automat. Tento způsob ale nebyl odzkoušen a není doporučen.

Pomocí mikrokontroleru Arduino připojeného k PC a doporučeného softwaru lze nahrát libovolnou skladbu do mikrokontroleru. Po stisknutí tlačítka na vytvořené desce plošných spojů je možné uloženou skladbu přehrávat již bez připojeného počítače.

Xylofon obsahuje velké množství elektromagnetů, které jsou stejného typu, ale jsou rozdílné v minimálním počtu parametrů. Při sestavování xylofonu byl zpozorován rozdíl v tuhosti pružin na jednotlivých solenoidech. Tento rozdíl byl částečně minimalizován natažením nevyhovujících pružin. Tato závada může mít vliv na kvalitu výsledných zvuků, avšak jí nelze kompletně odstranit.



Obr. 32: Výsledný elektronický xylofon

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit funkční elektronický xylofon pro propagační účely Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

V první kapitole bylo představeno řešení elektronického xylofonu z webových stránek projektu NetKits a také celkový teoretický princip funkce popisovaného xylofonu. Byly určeny základní vztahy a zákonitosti nutné pro stavbu funkčního zařízení.

V další kapitole byl proveden návrh jednotlivých součástí, elektronických obvodů a desek plošných spojů. Byla navrhována a vytvořena hlavní ovládací deska xylofonu, deska pro ovládání mikrokontrolerem Arduino i deska pro ovládání xylofonu programovatelným automatem. Navrhnuté desky byly osazeny komponenty a jejich funkčnost byla otestována na výsledném zařízení.

V závěru druhé kapitoly byla realizována samotná konstrukce xylofonu s využitím hliníkových profilů různých délek a rozměrů. Na tyto profily byly připevněny elektromagnety, které ovládají jednotlivé destičky xylofonu.

V třetí kapitole byl popsán princip a algoritmy softwaru použitého k oživení mikrokontroleru a zajištění chodu celého zařízení.

Konečným výsledkem této práce je funkční elektronický xylofon, pomocí kterého lze přehrát předem nahrané skladby pomocí mikrokontroleru Arduino nebo s využitím zvoleného programovatelného automatu.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KURFÜRST, Pavel. *Hudební nástroje*. Praha: Togga, 2002. ISBN 80-902912-1-x.
- [2] RAYLEIGH, John William Strutt. *The Theory of Sound I*. New York: Dover Publications, 1945. ISBN 978-0486602929.
- [3] *NerdKits: Robotic Xylophone* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.nerdkits.com/videos/robotic_xylophone/
- [4] *Kmity a vlny: Kmitové módy* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://vojtahanak.cz/files/kmity/chveni.html>
- [5] *Solenoid* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://icdn2.pushauction.com/0/0/f37477f9-6aaa-4217-9548-c36e3e397539/e9e9c152-4763-4cde-9c6f-566d908e3f1e.jpg>
- [6] *ULN2803: Datasheet*. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>
- [7] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [8] *Arduino: UNO* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [9] *CD4051: Diagram* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://1.bp.blogspot.com/-Ykkbp4zLBGo/WkpcI1-dkdI/AAAAAAAAAU4/-XPqqiq8B0UteFtCfCFUB4IOYfyvg9K9QCK4BGAYYCw/s640/CD4051_functional_diagram.png
- [10] *CD4051: Datasheet*. Dostupné také z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.427-156.1.pdf>
- [11] HOIDEKER, Jan. *MIDI* [online]. Plzeň, 1999 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://www-kiv.zcu.cz/~herout/html_sbo/midi/toc.html